

13. 1. 2004

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

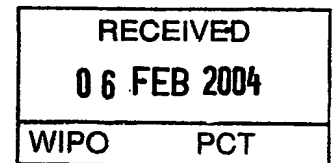
別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 1月15日
Date of Application:

出願番号 特願2003-007631
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP2003-007631]

出願人 シャープ株式会社
Applicant(s):



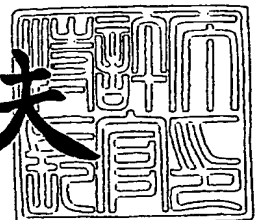
PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

2003年12月19日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 02J03975

【提出日】 平成15年 1月15日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/20
H01L 21/786

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 谷口 仁啓

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 網沢 啓

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 岡崎 真也

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

【氏名】 乾 哲也

【特許出願人】

【識別番号】 000005049

【氏名又は名称】 シャープ株式会社

【代理人】

【識別番号】 100080034

【弁理士】

【氏名又は名称】 原 謙三

【電話番号】 06-6351-4384

【選任した代理人】

【識別番号】 100113701

【弁理士】

【氏名又は名称】 木島 隆一

【選任した代理人】

【識別番号】 100116241

【弁理士】

【氏名又は名称】 金子 一郎

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 003229

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0208489

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 結晶化半導体薄膜の製造方法ならびにその製造装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、

上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを、照射することを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造方法。

【請求項 2】

上記主エネルギービームの照射を、半導体薄膜面における副エネルギービームの照射による、単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で開始することを特徴とする請求項 1 記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

【請求項 3】

上記主エネルギービームと副エネルギービームとの波長を互いに異ならせることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

【請求項 4】

上記基板は、該基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜が形成されているとともに、

上記熱伝導性絶縁膜は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも 1 種類の材料によって形成されていることを特徴とする請求項 1～3 のいずれか 1 項に記載の結晶化半導体薄膜の製造方法。

【請求項 5】

主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネル

ギービーム照射手段を備えた、結晶化半導体薄膜の製造装置であって、

上記エネルギービーム照射手段は、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっていることを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造装置。

【請求項 6】

上記エネルギービーム照射手段は、半導体薄膜に照射される上記主エネルギービームと副エネルギービームとのパターンを形成するマスクと、

上記マスクを透過した上記主エネルギービームと副エネルギービームとを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、

上記マスクには、主エネルギービームのパターンと、該主エネルギービームのパターンと隣り合うように副エネルギービームのパターンとが形成されていることを特徴とする請求項 5 記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

【請求項 7】

主エネルギービームをパルス照射する第 1 ビーム照射部と、

上記第 1 ビーム照射部から照射される主エネルギービームのパターンを形成する第 1 のマスクと、

単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームを照射する第 2 ビーム照射部と、

上記第 2 ビーム照射部から照射される副エネルギービームのパターンを形成する第 2 のマスクと、

上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、

上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとは、副エネルギービームが、主エネルギービームと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっていることを特徴とする結晶化半導体薄膜の製造装置。

【請求項 8】

上記第 1 ビーム照射部からの主エネルギービームの照射と、第 2 ビーム照射部からの副エネルギービームの照射との照射タイミングを制御する制御手段と、

上記第1ビーム照射部からの主エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーと、上記第2ビーム照射部からの副エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーとを個別に調節可能な調節手段とを備えることを特徴とする請求項7記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

【請求項9】

上記第1ビーム照射部および第2ビーム照射部は、互いに波長の異なるエネルギービームを照射するようになっていることを特徴とする請求項7または8記載の結晶化半導体薄膜の製造装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、エネルギービーム、特にレーザ光を利用して結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法、及び、製造装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

液晶やエレクトロルミネッセンス（EL）等を応用した表示装置に用いられている薄膜トランジスタは、非晶質もしくは多結晶のシリコンを活性層として用いられている。このうち、多結晶シリコンを活性層とした薄膜トランジスタ（結晶化半導体薄膜）は、電子の移動度が非晶質シリコンを活性層とした薄膜トランジスタと比べて高いために、非晶質シリコンの薄膜トランジスタに比較して、多くの長所を有している。

【0003】

具体的には、例えば、多結晶シリコンを活性層とした薄膜トランジスタは、画素部分にスイッチング素子を形成するだけでなく、画素周辺部分に駆動回路や、一部の周辺回路を一枚の基板上に形成することができる。このため、別途ドライバICや駆動回路基板を表示装置に実装する必要がなくなるので、表示装置を低価格で提供することが可能となる。

【0004】

また、その他の長所としては、トランジスタの寸法を微細化できるので、画素

部分に形成するスイッチング素子が小さくなり、高開口率化を図ることができる。このため、高輝度、高精細な表示装置を提供することが可能となる。

【0005】

上記のような、多結晶シリコン薄膜（結晶化半導体薄膜）の製造方法には、ガラス基板にCVD法などで非晶質シリコン薄膜を形成した後、別途、非晶質シリコンを多結晶化する工程が必要となる。

【0006】

非晶質シリコンを多結晶化（結晶化）する工程としては、例えば、600℃以上の高温でアニールする高温アニール法等がある。しかし上記方法によって多結晶シリコンを製造する場合、非晶質シリコンを積層している基板として、上記のような高温に絶えるだけの高価なガラス基板を使用する必要があり、表示装置の低価格化の阻害要因となっていた。ところが、近年では、レーザ光を用いて600℃以下の低温で非晶質シリコンの結晶化を行う技術が一般化されており、低価格のガラス基板に多結晶シリコントランジスタを形成した表示装置を低価格で提供できるようになっている。

【0007】

レーザ光を用いた結晶化技術としては、例えば、非晶質（アモルファス）シリコン薄膜を形成したガラス基板を400℃程度に加熱して、上記ガラス基板を一定速度で走査させながら、長さ200～400mm、幅0.2～1.0mm程度の線状レーザビームを上記ガラス基板上に連続的に照射する方法が一般的である。この方法を用いると、アモルファスシリコン薄膜の厚さと同程度の平均粒径を有する多結晶シリコン薄膜を形成することができる。このとき、レーザビームが照射された部分の非晶質シリコンは、厚さ方向全域にわたって熔融するのではなく、一部の非晶質領域を残して熔融することとなる。これによって、レーザ照射領域全面にわたって、いたるところに結晶核が発生し、シリコン薄膜最表層に向かって結晶が成長し、ランダムな方位の結晶粒が形成されることとなる。

【0008】

ところが、さらに高性能な表示装置を得るためには、多結晶シリコンの結晶粒径を大きくすること、成長する結晶の方向を制御することが必要であり、単結晶

シリコンに近い性能を得ることを目的として数多くの研究開発がなされている。

【0009】

具体的には例えば、特許文献1に結晶をより大きくするための技術が開示されている。

【0010】

その中でも特に、特許文献1にはスーパーラテラル成長と称する技術が開示されている。該特許文献に記載の方法は、微細幅のパルスレーザをシリコン薄膜に照射し、シリコン薄膜をレーザ照射領域の厚さ方向全域にわたって溶融・凝固させて結晶化を行うものである。

【0011】

図9は、スーパーラテラル成長による結晶化のプロセスを説明する図面である。図9(a)において、例えば、 $2\sim 3\mu\text{m}$ の微細幅のレーザを半導体薄膜に照射し、領域71の半導体薄膜を厚さ方向全域にわたって溶融させると、未溶融領域の境界から横方向72、すなわち、水平方向に針状の結晶が成長し、溶融領域中央部で両側から成長した結晶が衝突し成長が終了する。図9(a)のように水平方向に結晶成長することをラテラル成長と呼ぶ。さらに、図9(b)～(c)に示すように、1回前のレーザ照射で形成された針状結晶の一部に重複するように順次レーザパルス照射をしていくと、既に成長した結晶を引き継いで、さらに長い針状の結晶が成長し、結晶の成長する方向の揃った長結晶が得られると記載されている。図9(b)～(c)のようにラテラル成長した結晶を引き継いでさらに大きな結晶を成長させることをスーパーラテラル成長と呼ぶ。

【0012】

また、特許文献2には、第1のパルスビームに包含されるように第2のパルスビームを半導体薄膜に照射する構成が開示されている。

【0013】

また、スーパーラテラル成長とは異なる結晶化のプロセスとしては、例えば、特許文献3に開示された技術がある。

【0014】

【特許文献1】

特許 3204986 号公報 (登録日; 2001 年 6 月 29 日)

【0015】

【特許文献 2】

特公平 3-79861 号公報 (公告日; 1991 年 12 月 20 日)

【0016】

【特許文献 3】

特公平 4-20254 号公報 (公告日; 1992 年 4 月 2 日)

【0017】

【非特許文献 1】

応用物理学会結晶工学分科会第 112 回研究会テキスト p. 19~25

【0018】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来の技術では、結晶のラテラル成長方向の距離をより長く伸ばすことが困難である、または、ラテラル成長方向の距離をより長く伸ばすことができても非常に効率が悪いという問題点がある。以下に、上記特許文献 1 の問題点について詳述する。

【0019】

上記特許文献 1 に開示の方法において、1 回のパルス照射で成長する結晶の長さは、各種のプロセス条件と半導体薄膜の厚さによって異なり、基板温度 300℃として、波長 308 nm のエキシマレーザを照射した場合には、最長 1~1.2 μm 程度となることが知られている (例えば、非特許文献 1 参照)。

【0020】

しかしながら、上記特許文献 1 に開示の方法では、図 9 (c) に示すような針状の長結晶を形成するためには、1 パルスのレーザ照射で成長する結晶長さ (以下、「ラテラル成長距離」と称す) の $1/2 \sim 1/3$ 程度の送りピッチ、すなわち、0.3~0.6 μm 程度の極めて微小な送りピッチでパルスレーザ照射を繰り返し行うことが必要である。このため、表示装置などに用いる基板の全面にわたって結晶化するには極めて長い時間が必要であり、製造効率が極めて悪いという問題点を有している。

【0021】

また、上記特許文献2に開示の方法では、第1のパルスビームは第2のパルスビームを包含するように照射している。第1のパルスビームは、基板と半導体薄膜とのストレスとなるヒータ加熱を除去することを目的として、基板を予備加熱するために照射するものであり、特許文献2に記載の方法を実施するためには計2つのビーム照射手段を備える複雑な装置が必要となる。

【0022】

また、薄膜トランジスタのチャンネル長は、現状、数 μm 以上であるため、キャリアの移動方向に粒界のない結晶を得るには、数回以上の連続的成長を行う必要があった。しかしながら、1パルスのレーザ照射で数 μm 以上の針状結晶が成長し、そこにチャンネルを形成することができれば、キャリアの移動度が高く、特性に優れた薄膜トランジスタを形成することが可能になる。

【0023】

以上説明した理由により、スーパーラテラル成長技術においては、結晶のラテラル成長方向の距離をより一層伸ばすことが求められている。

【0024】

本発明は上記従来の課題に鑑みてなされたものであり、その目的は、ラテラル成長方向の距離をより長くして、良質の多結晶化半導体薄膜を効率よく製造する結晶化半導体薄膜の製造方法および製造装置を提供することである。

【0025】

【課題を解決するための手段】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記課題を解決するために、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを照射することを特徴としている。

【0026】

上記の構成によれば、主エネルギービームと隣り合うように、副エネルギービームを照射するようになっている。一般に、主エネルギービームのパルス照射によって、融解された半導体薄膜は、周囲から結晶化することになる。このとき、本発明では、この融解された半導体薄膜の周囲に、上記主エネルギービームよりも、単位面積あたりのエネルギーの小さい副エネルギービームを、上記主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている。そして、上記副エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が熔融するエネルギーのしきい値よりも低く設定されている。これにより、融解された半導体薄膜は、従来と比べて、遅い冷却速度で冷却されることとなる。つまり、熔融された半導体薄膜が、結晶化する際、徐々に結晶化することとなる。これにより、結晶化半導体薄膜の結晶の大きさを従来と比べて、大きくすることができる。なお、上記主エネルギービームは、半導体薄膜を熔融させることができる。つまり、主エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーは、半導体薄膜が熔融するエネルギーのしきい値よりも高く設定されている。つまり、上記の構成とすることにより、半導体薄膜における熔融領域を精密に制御することに加えて、熔融した半導体薄膜の結晶化の速度（凝固）の制御も行うことができる。

【0027】

従って、半導体薄膜へ与えるエネルギーの空間的温度分布を変化させることができ、凝固（結晶化）時の時間的、空間的温度変化を緩やかにしているので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶（半導体薄膜を構成する材料からなる結晶）の長さ（ラテラル成長距離）を伸長することが可能になる。

【0028】

また、主ビームと隣り合うように副ビームを照射することにより、例えば、複数のエネルギーの異なるパルスレーザを同一箇所を複数照射して、半導体薄膜を結晶化させる構成等と比べて、短時間で結晶化半導体薄膜を製造することができる。これにより、従来と比べて、結晶化半導体薄膜の製造効率がよい。

【0029】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギービームの照

射を、半導体薄膜面における副エネルギービームの照射による、単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で開始する構成とすることがより好ましい。

【0030】

上記の構成によれば、主エネルギービームを、副エネルギービームの照射を開始して、半導体薄膜面における単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で照射するようになっている。

【0031】

これにより、半導体薄膜の空間的温度分布を最適化することができて、半導体薄膜の結晶化時（凝固時）の時間的、空間的温度変化も最適化できるので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶の長さをさらに伸長することが可能になる。

【0032】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギービームと副エネルギービームとの波長を互いに異ならせる構成とすることがより好ましい。

【0033】

上記の構成によれば、主エネルギービームと副エネルギービームとの波長を互いに異ならせるように半導体薄膜に照射するようになっている。つまり、互いに異なる2つのエネルギービームの経路（光路）を利用して、半導体薄膜にエネルギービームを照射するようになっている。これにより、2つの光路を合成して半導体薄膜に照射する際に、エネルギービームの利用効率を向上させることができるので、より効率的に半導体薄膜を融解させた後、再結晶化することが可能になる。

【0034】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記基板は、該基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜が形成されているとともに、上記熱伝導性絶縁膜は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも1種類の材料によって形成されている構成とすることがより好ましい。

【0035】

上記の構成によれば、基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜を設けることにより、基板に対して照射されたエネルギービームによる熱を半導体薄膜の水平方向に早く伝えることができるので、水平方向への結晶成長（ラテラル成長）を促進することができる。つまり、結晶化する方向を水平方向に誘導することができるので、より大きな結晶で構成された結晶化半導体薄膜を製造することができる。

【0036】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記課題を解決するために、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギービーム照射手段を備えた、結晶化半導体薄膜の製造装置であって、上記エネルギービーム照射手段は、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっていることを特徴としている。

【0037】

上記の構成によれば、上記エネルギービーム照射手段は、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主ビームに対して、副ビームを隣り合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。

【0038】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記エネルギービーム照射手段は、半導体薄膜に照射される上記主エネルギービームと副エネルギービームとのパターンを形成するマスクと、上記マスクを透過した上記主エネルギービームと副エネルギービームとを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記マスクは、主エネルギービームのパターンと隣り合うように、副エネルギービームのパターンが形成されている構成がより好ましい。

【0039】

上記の構成によれば、マスクのパターン形状によって、上記副エネルギービー

ムを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている。従って、例えば、マスクのパターン形状を変えることにより、主エネルギービームと副エネルギービームとの形状を簡単に変えることができるので、エネルギービームの最適化をより簡単に行うことができる。

【0040】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記の課題を解決するために、主エネルギービームをパルス照射する第1ビーム照射部と、上記第1ビーム照射部から照射される主エネルギービームのパターンを形成する第1のマスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームを照射する第2ビーム照射部と、上記第2ビーム照射部から照射される副エネルギービームのパターンを形成する第2のマスクと、上記第1のマスクと第2のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第1のマスクと第2のマスクとは、副エネルギービームが、主エネルギービームと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっていることを特徴としている。

【0041】

上記の構成によれば、2つのエネルギービーム照射手段を用いて、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている。これにより、主ビームに対して、副ビームを隣り合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができる。また、2つのエネルギービーム照射手段を用いることにより、例えば、互いに波長の異なるエネルギービーム等を簡単に作り出すことができる。

【0042】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1ビーム照射部からの主エネルギービームの照射と、第2ビーム照射部からの副エネルギービームの照射との照射タイミングを制御する制御手段と、上記第1ビーム照射部からの主エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーと、上記第2ビーム照射部からの

副エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーとを個別に調節可能な調節手段とを備える構成がより好ましい。

【0043】

上記の構成によれば、エネルギービームの照射タイミングとエネルギーとを別個に調整するようになっているので、エネルギービームの利用効率を上げることができる。

【0044】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1ビーム照射部および第2ビーム照射部は、互いに波長の異なるエネルギービームを照射するようになっている構成がより好ましい。

【0045】

上記の構成によれば、波長の異なるエネルギービームを用いて、結晶化半導体を製造するようになっている。これにより、例えば、レーザ光等のエネルギービームの利用効率を向上させることができるので、再結晶化の効率をより高めることが可能になる。

【0046】

【発明の実施の形態】

〔実施の形態1〕

本発明の実施の一形態について図1ないし図5に基づいて説明すれば、以下の通りである。まず、本実施の形態の結晶化半導体薄膜の製造方法に用いる半導体薄膜を有する基板について説明する。

【0047】

本実施の形態に使用する半導体薄膜を有する基板は、図1に示すように、絶縁性基板1上に、耐熱性薄膜2、高熱伝導性絶縁膜（熱伝導性絶縁膜）3、バッファ膜4、半導体薄膜5を順に積層したものである。

【0048】

絶縁性基板1は、ガラスや石英等を用いることができるが、安価である点、大面積基板を容易に製造できる点でガラスを用いることが望ましい。本実施の形態では0.7mmの厚さのガラス基板を用いている。

【0049】

耐熱性薄膜 2 は、主として結晶化の際に溶融した半導体薄膜 5 の熱影響が絶縁性基板 1 に及ばないようにするために形成する。本実施の形態においては、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法により形成された 100 nm の厚さの酸化シリコンを用いている。

【0050】

高熱伝導性絶縁膜 3 は、水平方向に熱を逃がすことにより水平方向 72 への結晶成長（ラテラル成長）を促進するために用いられる。つまり、結晶化する方向を誘導することにより、結晶をより大きく成長させるために用いられる。また、高熱伝導性絶縁膜 3 の膜厚としては、10～50 nm の範囲内がより好ましい。高熱伝導性絶縁膜 3 の製造方法としては、例えば、蒸着、イオンプレーティング、又はスパッタリングなどにより積層すればよい。本実施の形態においては、スパッタリングにより形成された 20 nm 厚の窒化アルミニウムとした。この高熱伝導性絶縁膜 3 は、必要に応じて設ければよい。

【0051】

上記高熱伝導性絶縁膜 3 を構成する材料としては、具体的には、例えば、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも 1 種類の材料が好適に使用することができる。

【0052】

上記高熱伝導性薄膜 3 を形成することにより、エネルギービームの照射端から未照射部への熱流入が促進されることにより、従来と比べて、ラテラル成長距離の大きい結晶を得ることができる。

【0053】

バッファ層 4 は、半導体薄膜 5 への、例えば、高熱伝導性絶縁膜 3 や、耐熱性薄膜 2 等の下層膜からの不純物拡散防止、並びに、結晶化の際に半導体薄膜 5 と高熱伝導性薄膜 3 との反応（例えば、合金化）を防止するために必要に応じて形成すればよい。本実施の形態においては、CVD 法により形成された 20 nm 厚の酸化シリコンを用いている。

【0054】

半導体薄膜5は、非晶質もしくは結晶性の半導体材料を膜厚が30～200nmの範囲内となるように形成すればよい。本実施の形態においては、CVD法により形成された50nmの厚さのアモルファスシリコンを用いている。そして、上記半導体薄膜5を多結晶化させることにより、最終的に製品として使用される結晶化半導体薄膜を得ることができる。

【0055】

以下に、上記説明した半導体薄膜5を有する基板にレーザを照射して、上記半導体薄膜5を多結晶化する方法、すなわち、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法について説明する。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、主エネルギービーム（以下、主ビームと称する）と、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービーム（以下、副ビームと称する）とを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを、照射する方法である。

【0056】

図1に示すように、本実施の形態においては、半導体薄膜5を溶融・凝固させて再結晶化を行うための主ビーム6と、半導体薄膜5の温度を上昇させる目的で上記主ビーム6に近接する副ビーム7とを、上記半導体薄膜5に照射することで、従来よりも結晶（結晶粒径）の大きい結晶化半導体薄膜を製造するようになっている。まず、上記のようなビーム（主ビーム6および副ビーム7）を形成（照射）ための装置、すなわち、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置について説明する。

【0057】

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主ビーム6よりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副ビーム7とを、基板上に形成された半導

体薄膜に対してパルス照射するエネルギービーム照射手段を備えた、結晶化半導体薄膜の製造装置であって、上記エネルギービーム照射手段は、上記副ビーム 7 を、主ビーム 6 と隣り合うように照射するようになっている構成である。

【0058】

より詳細には、主ビーム 6 と、単位面積あたりのエネルギーが該主ビーム 6 よりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副ビーム 7 とを、基板上に形成された半導体薄膜に対してパルス照射するエネルギービーム照射手段と、半導体薄膜に照射される上記主ビーム 6 と副ビーム 7 とのパターンを形成するマスクと、上記マスクを透過した上記主ビーム 6 と副ビーム 7 とを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記マスクは、主ビーム 6 のパターンと隣り合うように、副ビーム 7 のパターンが形成されている構成である。なお、上記パルス照射するとは、パルスエネルギービーム（例えば、パルスレーザ）を照射することを示している。

【0059】

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、図 2 に示すように、レーザ発振器 61、可変減衰器 63、ビーム整形素子 64、マスク面均一照明素子 65、フィールドレンズ 66、マスク 67、結像レンズ 68 を備えている。なお、以下の説明では、エネルギービームがレーザ光である構成について説明する。また、本実施の形態では、上記レーザ発振器 61、可変減衰器 63、ビーム整形素子 64、マスク面均一照明素子 65、フィールドレンズ 66、マスク 67、および、結像レンズ 68 等によりエネルギー照射手段が構成されている。

【0060】

レーザ発振器 61 は、パルス状のレーザ光（エネルギービーム）を照射するものである。上記レーザ発振器 61 から照射されるレーザ光の単位面積あたりのエネルギーとしては、半導体薄膜 5（例えば、アモルファスシリコン）を溶融することが可能であれば、特に限定されるものでない。また、上記のようなエネルギーを有するレーザ光を照射することができるレーザ発振器 61 としては、例えば、エキシマレーザ、YAG レーザに代表される各種固体レーザなど、紫外域の波長を有する光源が望ましい。本実施の形態では波長 308 nm のエキシマレーザ

を用いている。

【0061】

可変減衰器 63 は、基板面に到達するレーザ光のエネルギー密度（単位面積あたりのエネルギー）を調整する機能を有している。

【0062】

ビーム整形素子 64 およびマスク面均一照明素子 65 は、レーザ発振器 61 から出射したレーザ光を適当な寸法に整形した後、マスク面に均一に照明する機能を有している。これは、例えば、レーザ発振器 61 から照射されたガウシアン型の強度分布（エネルギー分布）のレーザ光を、シリンドリカルレンズアレイとコンデンサレンズとを用いることによって、分割してマスク面に重ねあわせて照明することで、均一な強度分布のマスク照明とするものである。

【0063】

フィールドレンズ 66 は、マスク 67 を透過する主ビーム 6 および副ビーム 7 を結像レンズ 68 の結像面に垂直に入射させる機能を有する。

【0064】

マスク 67 は、該マスク 67 に照射されてきたレーザ光を、主ビーム 6 と副ビーム 7 とに分けて透過させるようになっている。つまり、該マスク 67 に形成されたパターンにより、主ビーム 6 と副ビーム 7 とを作りだすようになっている。該マスク 67 に形成されるパターンについては後述する。

【0065】

そして、マスク 67 を透過した主ビーム 6 と副ビーム 7 とは、結像レンズ 68 によって、半導体薄膜 5 を有する基板 69 上に所定倍率で結像される。上記所定倍率は、結像レンズ 68 の倍率によって変化する。本実施の形態において、結像レンズの倍率は $1/4$ としている。

【0066】

また、ミラー 62 はレーザ光を折返すために用いるが、配置箇所、数量に制限はなく、装置の光学設計、機構設計に応じて適切に配置することが可能である。

【0067】

図 3 は、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置のマスク 67 に形

成するパターンを説明する正面図である。本実施の形態では、マスク 67 に、主ビーム形成用パターン 21 の両側に近接して副ビーム形成用パターン 22 が形成されている。具体的には、主ビーム形成用パターン 21 と隣り合うように、副ビーム形成用パターン 22 が形成されている。これにより、レーザ発振器 61 から出射したレーザ光は、半導体薄膜 5 に対して、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射することができる。なお、本実施の形態では、主ビーム形成パターン 21 と 2 つの副ビーム形成用パターン 22 とを 1 組として、複数のパターン群を形成することが可能である。図 3 では、3 組のパターン群を形成している。

【0068】

ここで、主ビーム形成用パターン 21 と副ビーム形成用パターン 22 の寸法関係について説明する。

【0069】

主ビーム形成用パターン 21 の幅は、(ラテラル成長距離の 2 倍/結像レンズの倍率) 程度とすればよい。上記幅としては、具体的には、例えば、12 から 60 μm 程度の間で設定することが可能である。本実施の形態においては、主ビーム形成用パターン 21 の幅を 24 μm としている。

【0070】

副ビーム形成用パターン 22 の幅は、結像レンズの解像度に応じて設定する。副ビーム形成用パターン 22 の幅を (結像レンズの解像度/結像レンズの倍率) と同程度以下とすれば、上記副ビーム形成用パターン 22 を透過したビームのエネルギー密度は、主ビーム 6 の単位面積あたりのエネルギー (以下、エネルギー密度と称する) よりも十分に小さくすることが出来る。これを利用し、本実施の形態では、主ビーム 6 のエネルギー密度を半導体薄膜の厚さ方向全体を熔融できるようにし、かつ副ビーム 7 のエネルギー密度を半導体薄膜 5 が熔融 (融解) しないようなエネルギー密度とするように副ビーム形成用パターン 22 の幅を設定している。つまり、主ビーム 6 を半導体薄膜 5 に照射することによって、該半導体薄膜 5 を厚さ方向 (基板上に積層されている積層方向) の全体を融解するエネルギー密度に設定する。その一方で、副ビーム 7 はそれ自体では、半導体薄膜 5

に照射した場合でも該半導体薄膜を融解させることがない。すなわち、副ビーム 7 のエネルギー密度は、主ビーム 6 よりも小さくかつ半導体薄膜 5 が溶融するエネルギーのしきい値より低くなるように設定している。換言すると、副ビーム 7 は、半導体薄膜 5 を結晶化しない程度、かつ、半導体薄膜 5 を暖めることができる程度のエネルギー密度を有していればよい。

【0071】

具体的には、例えば、結像レンズの開口数 ($=NA$) を 0.15 とし、使用する光の波長を λ ($=0.308\mu\text{m}$) とすると、解像度 R は近似的に $R=\lambda/NA=0.308/0.15=2.1\mu\text{m}$ となる。また、結像レンズの倍率は $1/4$ であるので、副ビーム形成用パターン 22 の幅を (解像度 R / 結像レンズの倍率) と同程度以下である $4.0\mu\text{m}$ としている。

【0072】

図 4 は、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いる結像レンズ 68 の MTF (Modulus Transfer Function) を説明するグラフである。上記の説明のように、結像レンズの倍率は $1/4$ であるので、結像レンズ 68 を通過して、半導体薄膜 5 に照射される主ビーム 6 の幅が $6\mu\text{m}$ となる。従って、このときの、空間周波数は $1/(0.006\times 2)=83$ (本/mm) となり、図 4 に示すような空間周波数と MTF との関係から、 $MTF=0.89$ となる。また、上記と同様に、半導体薄膜 5 に照射される副ビーム 7 の幅が $1\mu\text{m}$ であるから、空間周波数は $1/(0.001\times 2)=500$ (本/mm) となり、このときの $MTF=0.37$ となる。MTF は像のコントラストを示しているので、このようにマスクパターンのスリット幅を調整すれば、半導体薄膜上に照射されるエネルギー密度も同時に調整されることになり、主ビーム 6 で半導体薄膜 5 の厚さ方向全体を溶融して、副ビーム 7 で半導体薄膜 5 を溶融させない程度に暖めることが可能である。

【0073】

主ビーム 6 と副ビーム 7 との間隔は、副ビーム 7 の幅を決定した理由と同様であり、本実施の形態では $1.0\mu\text{m}$ とした。

【0074】

マスクパターン（主または副ビーム形成用パターンの幅）は、上記半導体薄膜上でのビームサイズと結像レンズの倍率から決定する。本実施の形態においては、倍率 $1/4$ の結像レンズを用いたので、マスクパターンは上記半導体薄膜 5 上に照射されるビームサイズと比べて 4 倍の寸法になっている。

【0075】

以上のような構成の製造装置を用いて、結晶化半導体薄膜を製造する。具体的には、本実施の形態では、レーザ光を上記半導体薄膜 5 に照射する際、上記主ビーム 6 と隣り合うように副ビーム 7 を照射することにより、結晶化半導体薄膜を製造している。

【0076】

ここで、上記のように、レーザ光を半導体薄膜 5 に照射した場合の温度分布について説明する。

【0077】

図 5 は、有限要素法による非定常熱伝導の計算結果を説明するグラフである。図 5 (a) ~ (d) は、時系列の温度プロファイルである。各グラフの横軸はレーザ照射領域中心部からの位置（距離）を示しており、縦軸は半導体薄膜の下面の温度を示している。図 5 (a) ~ (d) において、融点とは、本実施の形態で用いた半導体薄膜 5 を形成する材料である、アモルファスシリコンの融点を示している。図 5 (a) は半導体薄膜全体の温度が最も上昇する時刻である照射開始時刻から 25 ns 後における温度プロファイルを示すグラフである。このとき、従来の結晶化方法（従来例）では、レーザ照射領域中心部から $2.2 \mu\text{m}$ の位置まで半導体薄膜が溶融しており、一方、本発明による結晶化方法では、レーザ照射領域中心部から $2.4 \mu\text{m}$ の位置まで半導体薄膜が溶融していることがわかる。すなわち、従来例では、半導体薄膜が全厚さ方向にわたって完全溶融している領域は $4.4 \mu\text{m}$ 幅の領域であるのに対して、本発明による方法では、 $4.8 \mu\text{m}$ となる。なお、ここで説明している従来例とは、主ビーム 6 のみを半導体薄膜に照射する構成を示しており、具体的には、主ビーム 6 のエネルギー密度と、本実施の形態にかかる主ビーム 6 のエネルギー密度とを同じ状態で、該主ビーム 6 のみを照射する構成である。

【0078】

図5 (b) ~ (d) は半導体薄膜が結晶化する（凝固する）過程の温度プロファイルを示しているグラフであり、それぞれ、照射開始時刻から60 ns、70 ns、100 ns後の温度プロファイルを示すグラフである。

【0079】

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、いわゆるラテラル成長法と称するものである。このラテラル成長法について、以下に説明する。半導体薄膜にレーザ射光を照射すると、該半導体薄膜が融解されて、半導体薄膜が厚さ方向の全体にわたって完全に融解している領域と未溶融（未融解）領域との境界部分に無数の結晶核が形成され、レーザ照射領域中心部に向かって結晶が成長することとなる。また、レーザ照射領域中心部では、基板方向に熱の移動が生じるので、微細な結晶が形成される。そして、図5 (a) ~ (d) に示すように、温度プロファイルのグラフから半導体薄膜の結晶化の進行状態が判定できるので、このようなラテラル成長の状態を判定することができる。なお、本実施の形態の説明において、厚さ方向とは、基板上に積層された半導体薄膜の厚さの方向を示しており、ラテラル成長方向とは、基板の面内方向を示している。

【0080】

まず、図5 (a) ~ (d) に示すような温度プロファイルのグラフに基づいて、従来例の結晶化について説明する。例えば、従来例では、図5 (b) に示す温度プロファイルのグラフ、すなわち、時刻60 nsにおいては、レーザ照射領域中心部の位置0から1.8 μm までの間は、半導体薄膜の温度が、該半導体薄膜を構成している材料の融点以上になっている。すなわち、レーザ照射領域中心部の位置0から1.8 μm までの間は、半導体薄膜が溶融している状態となっている。また、図5 (a) に示す時刻25 nsでは、上記位置0から2.2 μm まで溶融していることとなっている。従って、半導体薄膜にレーザ光を照射した時点25 nsから60 nsまでの間において、レーザ照射領域中心部の位置0から2.2 μm 離れた位置から、上記位置0から1.8 μm 離れた位置までの2.2 - 1.8 = 0.4 μm の領域では、融解していた半導体薄膜が結晶化することとなる。つまり上記0.4 μm の領域では結晶が形成されていることになる。ところ

が、図5 (b) ~ (c) に示すように、半導体薄膜にレーザ光の照射を開始してから、60 ns ~ 70 ns の間に至る10 ns といった極めて短い時間に、レーザ光を照射した領域の全領域が融点以下となる。

【0081】

このとき、前述の通り、レーザ照射領域中心部においては、ラテラル成長方向でなく、基板法線方向に熱の移動が生じるために、ラテラル成長とはならず、微細な結晶となる。つまり、上記10 ns の間に、融解している半導体薄膜は、急激に冷却されることとなり、融点以下となってしまう。従って、融解している半導体薄膜の領域では、上記0.4 μ m の領域で生成した結晶が成長するより前に、融解している半導体薄膜の全領域に渡って、微細な結晶が多数生成することとなる。これにより、従来例では、結晶の大きな結晶化半導体薄膜を得ることができない。

【0082】

具体的には、従来例では、図5 (b) ~ (c) に示すような、温度プロファイルのグラフからわかるように、ラテラル成長する範囲は融解した端（本従来例では、照射中心から2.2 μ m の位置）から中央方向へ0.4 μ m から0.6 μ m の長さのラテラル成長が生じ、レーザ照射領域中心部から1.6 ないし1.8 μ m の範囲は微結晶となる。なお、スリットの幅をこれ以上広くしても、その分、レーザ照射領域中心部付近の微結晶の領域が大きくなるだけで、ラテラル成長の長さはほとんど変わらない。

【0083】

本実施の形態の場合について詳細に説明する。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、半導体薄膜にレーザ光を照射した時点25 ns から60 ns までの間において、半導体薄膜の融解している領域の推移は、上記説明の従来例と同様である。従って、上記レーザ光を照射した時点25 ns から60 ns までの間では、2.4 - 1.8 = 0.6 μ m 程度の結晶が生成されることとなる。次に、上記レーザ光を照射した時点から60 ns 後から、70 ns 後までの10 ns 間において融解している半導体薄膜の領域は、図5 (b)、(c) に示すように、レーザ照射領域中心部から1.8 μ m 離れた位置から、該中心部から

1. $6\mu\text{m}$ 離れた位置まで推移（移動）することとなる。つまり、上記 10ns 間においては、 $1.8 - 1.6 = 0.2\mu\text{m}$ の領域だけが新たに半導体薄膜の融点以下となる部分となる。従って、この部分では、半導体薄膜の結晶化が起こることになる。この場合、上記 $0.2\mu\text{m}$ の領域では、新たに微結晶が生成するよりも、レーザ照射領域中心部から $1.8\mu\text{m}$ 離れた位置にすでに生成している結晶を種結晶として結晶の成長が起こる。これは、従来例の場合と異なり、新たに結晶化される領域に種結晶の存在している位置が近いために、新たに微結晶が生成するよりも、既に存在している種結晶を中心として該種結晶が成長することとなる。

【0084】

また、上記レーザ光を照射した時点から 70ns 後から、 100ns 後までの 30ns 間において、融解している半導体薄膜の領域は、図5(c)、(d)に示すように、レーザ照射領域中心部から $1.6\mu\text{m}$ 離れた位置から、該中心部から $1.5\mu\text{m}$ 離れた位置まで推移（移動）することとなる。そして、この 30ns の間に融点以下となった。 $1.6 - 1.5 = 0.1\mu\text{m}$ の領域においても、上記説明した理由により、既に生成している結晶を成長させることとなる。

【0085】

従って、図5(d)に示すレーザ光照射開始時点から 100ns 後において、レーザ照射領域中心部から $1.5\mu\text{m}$ 離れた場所が融点以下になり、この部分の結晶化が始まる。このとき、結晶のラテラル成長の長さは、図5(a)及び(d)より、 $2.4 - 1.5 = 0.9\mu\text{m}$ となる。従って、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、従来例と比べて、成長する結晶のラテラル成長方向の長さが、従来例よりも $50 \sim 125\%$ 増加する。換言すると、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、従来例と比べて、結晶のラテラル成長方向の長さを $1.5 \sim 2.25$ 倍にすることができる。

【0086】

以上のように、有限要素法による非定常熱伝導の計算結果によると、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法を用いると、従来よりも、結晶のラテラル成長方向の長さを伸ばすことができることがわかる。

【0087】

そして、上記説明した作用・効果を実証するために、実際に半導体薄膜にレーザーを照射して結晶化実験を行うと、上記説明とほぼ同等の効果が得られた。つまり、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法を用いることにより、副ビーム7を主ビーム6と隣り合うように照射することにより、半導体薄膜の温度変化を緩やかにすることができるので、結晶化半導体薄膜における結晶のラテラル成長距離を拡大することができる。

【0088】

以上のように、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、融解された半導体薄膜5の温度分布において、融解している半導体薄膜5の融点付近となる位置が時間と共に移動することに着目して、上記半導体薄膜5の融点付近となる位置の外側（本実施例では、主ビーム中心から4～5 μ mの距離）を副ビーム7で加熱することにより、該融点となる半導体薄膜5の位置の移動を遅くするものである。融解している半導体薄膜5は、その温度が融点以下になると結晶化することとなる。このとき、結晶化の速度を遅くする（結晶化の領域を狭くすること）により、生成する結晶、具体的には、結晶のラテラル成長方向の距離を大きくすることができる。本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法では、主ビーム6で融解させた半導体薄膜5の、結晶化が始まる部分（領域）の外側を副ビーム7により加熱することにより、一度に結晶化する領域を狭くしている。これにより、微結晶が生成する割合よりも、既に存在している種結晶を中心として結晶成長する割合を、従来と比べて高くしている。従って、従来よりも結晶が大きい結晶化半導体薄膜を製造することができる。

【0089】

なお、上記説明では、主ビーム6と副ビーム7とをある一定の距離を隔てて隣り合うように、半導体薄膜5に照射する構成について説明した。しかしながら、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法においては、例えば、レーザー発振器から基板上に至る光路を分岐させた場合や、2つのレーザー照射手段を用いた場合には、主ビーム6と副ビーム7との一部が重なるような状態で隣り合うように、半導体薄膜5に上記2つのビームを照射するようになっていてもよい。た

だし、主ビーム 6 と副ビーム 7 とが完全に重なることはない。また、上記半導体薄膜 5 に照射する主ビーム 6 と副ビーム 7 との間隔としては、上記半導体薄膜 5 に照射される主ビーム 6 の幅が $3 \sim 15 \mu\text{m}$ の範囲内である場合には、例えば、 $1 \sim 8 \mu\text{m}$ の範囲内がより好ましく、 $2 \sim 6 \mu\text{m}$ の範囲内がさらに好ましい。上記間隔を上記範囲内とすることにより、より一層、生成する結晶の大きさ（結晶の粒径）を大きくすることができる。

【0090】

また、上記の説明では、エネルギービームとして、レーザ光を用いる構成について説明したが、本発明のエネルギービームは、上記に限定されるものではなく、例えば、電子ビーム等を用いてもよい。

【0091】

〔実施の形態 2〕

本発明の他の実施の形態について図 6 ないし図 8 に基づいて説明すれば、以下の通りである。

【0092】

本実施の形態では、二台のレーザ照射装置を用いて、主ビーム 6 と副ビーム 7 の照射タイミングを調整することによって、さらにラテラル成長距離を伸ばすことが可能である。

【0093】

具体的には、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、主エネルギービーム 6 をパルス照射する第 1 ビーム照射部と、上記第 1 ビーム照射部から照射される主エネルギービーム 6 のパターンを形成する第 1 のマスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギービーム 6 よりも小さくかつ半導体薄膜が熔融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービーム 7 を照射する第 2 ビーム照射部と、上記第 2 ビーム照射部から照射される副エネルギービーム 7 のパターンを形成する第 2 のマスクと、上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第 1 のマスクと第 2 のマスクとは、副エネルギービーム 7 が、主エネルギービーム 6 と隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するように

なっている構成である。なお、説明の便宜上、上記実施の形態 1 にて示した各部材と同一の機能を有する部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。具体的には、本実施の形態においては、上記の実施の形態 1 と同様の半導体薄膜を使用している。そして、その他各層（基板等）の構成も実施の形態 1 と同一としている。

【0094】

本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置において、図 6 に示すように、第 1 のレーザ発振器（第 1 ビーム照射部）31 から半導体薄膜 5 を有する基板 44 上に至る第 1 のレーザ光路、および、第 2 のレーザ発振器（第 2 ビーム照射部）32 から上記基板 44 上に至る第 2 のレーザ光路を構成する光学部品、すなわち、可変減衰器（33、34）、ビーム整形素子（35、36）、マスク面均一照明素子（38、39）、マスク（40、41；調節手段）の構成は、それぞれ、図 2 に示す、実施の形態 1 にかかる製造装置の可変減衰器 63、ビーム整形素子 64、マスク面均一照明素子 65、フィールドレンズ 66、マスク 67 と同様である。また、本実施の形態にかかる製造装置は、上記の他に、ビームスプリッタ 42 およびパルスジェネレータ（制御手段）45 を備えている。また、上記第 1 のレーザ光路および第 2 のレーザ光路を構成する光学部品（ビームスプリッタ 42 および結像レンズ 43 を含む）等によりエネルギー照射手段が構成されている。

【0095】

上記第 1 のレーザ光路では主ビーム 6 が形成され、第 2 のレーザ光路では副ビーム 7 が形成される。そして、ビームスプリッタ 42 によって、上記第 1 のレーザ光路と、上記第 2 のレーザ光路が結合される。そして、結像レンズ 43 で、第 1 のレーザ光路と第 2 のレーザ光路とから照射されたレーザ光を併せて、半導体薄膜 5 に照射するようになっている。

【0096】

パルスジェネレータ 45 は、レーザ発振器の発振タイミングを制御するために用いられる。いずれのレーザ発振器 31、32 もパルスジェネレータ 45 から制御パルスが入力されると、遅延なくパルスレーザが照射されるように構成してい

る。そして、上記パルスジェネレータ 45 は、第 1 のレーザ発振器 31 と第 2 のレーザ発振器 32 とから照射されるパルスレーザの照射タイミングを制御することができる。

【0097】

また、本実施の形態では、それぞれのレーザ発振器 31、32 から照射されるレーザ光のエネルギー（エネルギー密度）の調整は個々のレーザ光で独立して行えるように構成している。具体的には、第一の可変減衰器 33、第二可変減衰器 34 または、第 1 のマスク 40、第 2 のマスク 41 に形成するパターン形状等により、それぞれ別個にレーザ光のエネルギー密度を調整することができる。

【0098】

レーザ発振器 31、32 から照射されるレーザ光（パルスレーザ）の波長は、いずれのレーザ光も 308 nm に設定している。

【0099】

第 1 のマスク 40 と第 2 のマスク 41 とは、順に主ビーム 6、副ビーム 7 を形成するために用いられる。図 7 は本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスク、具体的には、マスクに形成されたパターンの構成を示す正面図である。主ビーム 6 を形成する第 1 のマスク 40 は、図 7（a）に示すように、所定の幅を有するスリットが 3 本形成されている。また、副ビーム 7 を形成する第 2 のマスク 41 は、図 7（b）に示すように、上記主ビーム 6 よりも幅の小さいスリットが 6 本形成されている。なお、この図面では、主ビーム 6 と副ビーム 7 とのマスクパターン群が 3 組設けられている。従って、1 つの主ビーム 6 と副ビーム 7 と（1 組）に対応するマスクパターンは、1 本の主ビーム形成用パターン 51 と該パターンと一定の距離を隔てて隣り合っている 2 本の副ビーム形成用パターン 52 である。本実施の形態では、各マスク 40、41 に形成されたパターンの寸法は実施の形態 1 と同一に設定している。

【0100】

半導体薄膜 5 上に照射されるレーザ光のエネルギー密度は、実施の形態 1 と同様にマスクパターンの寸法によって調整されるが、個々のレーザ発振器 31、32 や個々の可変減衰器 33、34 でさらに詳細に調整することも可能である。レ

ーザ光（パルスビーム）を照射するタイミングは、副ビーム 7 による保温的な効果が発現するように設定する。すなわち、副ビーム 7 によって半導体薄膜 5 が保温されている間に主ビーム 6 を照射する。具体的には、図 8 に示すように、副ビーム 7 の時間変化曲線において、副ビーム 7 の出力が最大になる時間 t_2 に薄膜の温度もほぼ最大になるので、このときに主ビーム 6 を照射するように構成している。

【0101】

本実施の形態の構成とすることによっても、実施の形態 1 と同様なシミュレーション結果が得られることが分かる。そして、実際に半導体薄膜 5 にレーザを照射して結晶化実験を行うと、上記シミュレーション結果とほぼ同等の効果が得られた。

【0102】

本実施の形態においては、副ビーム 7 を主ビーム 6 と隣り合うように照射するようになっている。これについては、例えば、①主ビーム 6 と副ビーム 7 とを完全に同期させて照射する、②予め副ビーム 7 を照射しておき、該副ビーム 7 が照射されている間に、主ビーム 6 を該副ビーム 7 と隣り合うように照射する、③予め主ビーム 6 を照射しておき、該主ビーム 6 が照射されている間に、副ビーム 7 を該主ビーム 6 と隣り合うように照射する等の方法によって照射すればよい。上記例示の照射方法のうち、半導体薄膜 5 を予め融解しない程度に加熱することが出来る点で、上記②の方法がより好ましい。そして、特に、副ビーム 7 の半導体薄膜 5 の面におけるエネルギー密度が最大付近になるタイミング、最も好ましくは最大になるタイミングで、主ビーム 6 の照射を開始することが好適である。

【0103】

上記半導体薄膜 5 を予め該半導体薄膜 5 が融解しない程度に加熱しておくことにより、半導体薄膜 5 を早く融解させることができるとともに、融解させた半導体薄膜 5 の領域の周囲を暖めておくことができるので、該融解した半導体薄膜 5 をゆっくりと結晶化させることができる。これにより、生成する結晶化半導体薄膜の結晶の大きさ（針状結晶の長さ）を、従来と比べてさらに大きくすることができる。

【0104】

〔実施の形態3〕

本発明の他の実施の形態について説明すれば、以下の通りである。なお、説明の便宜上、上記実施の形態1および2にて示した各部材と同一の機能を有する部材には、同一の符号を付記し、その説明を省略する。

【0105】

本実施の形態は、波長の異なる二台のレーザ光を用いて、主ビーム6と副ビーム7の照射タイミングを調整することによって、さらにラテラル成長距離を伸ばす構成である。本実施の形態においては、上記実施の形態1と同様の基板を使用している。

【0106】

また、本実施の形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、基本的に上記実施の形態2と同様であるが、副ビーム7を形成するための第2のレーザ発振器32には、波長532nmのYAGレーザを用いている。

【0107】

そして、主ビーム6と副ビーム7の寸法関係は、実施の形態2と同様に設定している。また、レーザ光（パルスレーザ）を照射するタイミング、各レーザ光のエネルギー密度の調整等も上記実施の形態2と同様に設定している。

【0108】

本実施の形態では、副ビーム7を形成するレーザの波長を532nmに設定している。この理由について、以下に説明する。主ビーム6を形成するレーザ光としては、本実施の形態にかかる半導体薄膜5を形成しているアモルファスシリコンに対して、光透過率が低く、かつ、浸透深さの浅いものが好適である。一方、副ビーム7を形成するレーザ光は浸透深さが大きいものが好適である。ところで、強度 I_0 の光が物質に入射したとき、入射表面から距離 d の位置での強度 I は、 $I = I_0 \exp(-\alpha d)$ と表される。ただし、 α は吸収係数である。具体的には、アモルファスシリコンに対して、波長308nmの光の吸収係数を $1.2 \times 10^6 \text{ cm}^{-1}$ 、波長532nmの光の吸収係数を $2.0 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$ とする。上式により、例えば、 $I/I_0 < 0.01$ となる d の値を求めると、波長30

8 nmの光の場合40 nm、波長532 nmの光の場合235 nmとなる。本実施の形態において、アモルファスシリコンからなる半導体薄膜5の厚さは50 nmに設定しているので、波長308 nmの光はほとんど半導体薄膜5で吸収されるが、波長532 nmの光は、多くが半導体薄膜5を透過し、その下層、例えば、バッファ層4や、高熱伝導性絶縁膜3等に到達することとなる。従って、副ビーム7による保温的な効果は、半導体薄膜5での吸収係数が小さく、かつ、浸透深さの深い532 nmのレーザ光で行うほうが、より深い場所まで一様に温度を上昇させることができる。副ビーム7は、融解した半導体薄膜5の融点付近での急激な温度変化を防止するために照射するので、該副ビーム7として波長532 nmのレーザ光を照射することは上記目的を達成するためにはより好適である。なお、主ビーム6を形成するレーザ光として、532 nmのものをを用いることも可能であるが、該主ビーム6はエネルギー密度が高いため、浸透深さが深くなるように照射する場合には、ガラス基板を含む半導体薄膜5の下層膜へ損傷を及ぼさないように注意が必要である。

【0109】

本実施の形態の構成とすることによっても、実施の形態1と同様なシミュレーション結果が得られることが分かる。そして、実際に半導体薄膜にレーザを照射して結晶化実験を行うと、上記シミュレーション結果とほぼ同等の効果が得られた。すなわち、ラテラル成長方向の距離が従来よりも長い結晶化半導体薄膜を製造することができる。

【0110】

なお、いずれの実施の形態においても、マスクの光透過部（マスクのパターン）の形状を矩形のスリットとして説明したが、パターンの形状はこれに限定されることなく、例えば、メッシュ形状、鋸歯形状、波状など種々のスリット状の形状を採用することができる。

【0111】

また、2つの光路を合成する場合、一般にビームスプリッタを用いるが、同一波長のレーザ光では、光利用効率が50%となる。しかしながら、本実施の形態では、波長の異なるレーザ光を用いているので、ビームスプリッタを最適設計す

ることにより、光利用効率を50%以上にすることができる。

【0112】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、パルス放射する微細幅のスリット状のエネルギービームを半導体薄膜5に照射して、該エネルギービームの照射領域における上記半導体薄膜5を厚さ方向全域にわたって熔融、凝固させて結晶化を行う結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記半導体薄膜5には、主ビーム6と、主ビーム6よりも小さいエネルギー密度を有し、かつ上記主ビーム6と隣り合うように副ビーム7を照射する方法であってもよい。

【0113】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記半導体薄膜5に上記副ビーム7を照射を開始した後、上記副ビーム7以上のエネルギー密度を有する主ビーム6を、上記副ビーム7の半導体薄膜5の表面におけるエネルギー密度が最大になるタイミングで照射を開始する方法であってもよい。

【0114】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主ビーム6と上記副ビーム7の波長が異なるようにエネルギービーム照射する方法であってもよい。

【0115】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記半導体薄膜5の下層に窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化セリウムなどの高熱伝導性絶縁膜3が形成されている構成であってもよい。

【0116】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、少なくともレーザ光61と、マスク67と、結像レンズ68を備え、マスク像を半導体薄膜5上に結像して、上記半導体薄膜5を熔融、凝固させるように構成した結晶化半導体薄膜の製造装置であって、上記マスク67には、主ビーム6を構成するパターンに隣り合うように副ビーム7を形成するパターンが形成された構成であってもよい。

【0117】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、パルス放射する第1の

レーザ発振器 31 と、第 1 のマスク 40 と、第 2 のレーザ発振器 32 と、第 2 のマスク 41 と、結像レンズ 43 を備え、上記第 1 のマスク 40 による像が上記主ビーム 6 を形成し、上記第 2 のマスク 41 による像が上記副ビーム 7 を形成するように構成されていてもよい。

【0118】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第 2 のレーザ発振器 32 からの放射した光と、上記第 1 のレーザ発振器 31 との光とを、タイミングをずらせて照射できる制御装置と、第 1 のレーザ発振器 31 からのエネルギー密度と、上記第 2 のレーザ発振器 32 からのエネルギー密度を個別に調整可能な制御装置を備えた構成としてもよい。

【0119】

また、本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第 1 のレーザ発振器 31 と上記第 2 のレーザ発振器 32 は異なる波長の光を出射する構成となっていてよい。

【0120】

本発明は上述した各実施の形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施の形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施の形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【0121】

【発明の効果】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、以上のように、主エネルギービームと、単位面積あたりのエネルギーが該主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームとを、基板上に形成された半導体薄膜に、パルス照射することにより該半導体薄膜を厚さ方向の全域にわたって溶融させて、その後結晶化させることにより結晶化半導体薄膜を製造する結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記主エネルギービームと隣り合うように副エネルギービームを照射する構成である。

【0122】

それゆえ、半導体薄膜へ与えるエネルギーの空間的温度分布を変化させることができ、凝固（結晶化）時の時間的、空間的温度変化を緩やかにしているので、その結果、ラテラル成長法によって形成される針状結晶（半導体薄膜を構成する材料からなる結晶）の長さ（ラテラル成長距離）を伸長することが可能になるという効果を奏する。

【0123】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギービームの照射を、半導体薄膜面における副エネルギービームの照射による、単位面積あたりのエネルギーが最大になった時点で開始する構成とすることにより、半導体薄膜の結晶化時（凝固時）の時間的、空間的温度変化も最適化できるので、ラテラル成長法によって形成される針状結晶の長さをさらに伸長することが可能になる。

【0124】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記主エネルギービームと副エネルギービームとの波長を互いに異ならせる構成とすることにより、エネルギービームの利用効率を向上させることができるので、より効率的に半導体薄膜を融解させた後、再結晶化することが可能になる。

【0125】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造方法は、上記基板は、該基板と半導体薄膜との間に、熱伝導性絶縁膜が形成されているとともに、上記熱伝導性絶縁膜は、窒化アルミニウム、窒化シリコン、酸化アルミニウム、酸化マグネシウムおよび酸化セリウムから選択される少なくとも1種類の材料によって形成されている構成とすることにより、結晶化領域を小さくすることができるので、より大きな結晶で構成された結晶化半導体薄膜を製造することができる。

【0126】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、移住のように、上記エネルギービーム照射手段は、上記副エネルギービームを、主エネルギービームと隣り合うように照射するようになっている構成である。

【0127】

それゆえ、主ビームに対して、副ビームを隣り合うように、半導体薄膜に照射

することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができるという効果を奏する。

【0128】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記エネルギービーム照射手段は、半導体薄膜に照射される上記主エネルギービームと副エネルギービームとのパターンを形成するマスクと、上記マスクを透過した上記主エネルギービームと副エネルギービームとを半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記マスクは、主エネルギービームのパターンと隣り合うように、副エネルギービームのパターンが形成されている構成とすることにより、主エネルギービームと副エネルギービームとの形状を簡単に変えることができるので、エネルギービームの最適化をより簡単に行うことができる。

【0129】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、以上のように、主エネルギービームをパルス照射する第1ビーム照射部と、上記第1ビーム照射部から照射される主エネルギービームのパターンを形成する第1のマスクと、単位面積あたりのエネルギーが上記主エネルギービームよりも小さくかつ半導体薄膜が溶融するエネルギーのしきい値より低い副エネルギービームを照射する第2ビーム照射部と、上記第2ビーム照射部から照射される副エネルギービームのパターンを形成する第2のマスクと、上記第1のマスクと第2のマスクとによりそれぞれ形成されたパターンを、半導体薄膜上に結像する結像レンズとを備え、上記第1のマスクと第2のマスクとは、副エネルギービームが、主エネルギービームと隣り合うように半導体薄膜上に照射されるパターンを形成するようになっている構成である。

【0130】

それゆえ、主ビームに対して、副ビームを隣り合うように、半導体薄膜に照射することができるので、ラテラル成長距離の大きな結晶を有する結晶化半導体薄膜を製造する製造装置を提供することができるという効果を奏する。

【0131】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1ビーム照射部からの

主エネルギービームの照射と、第2ビーム照射部からの副エネルギービームの照射との照射タイミングを制御する制御手段と、上記第1ビーム照射部からの主エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーと、上記第2ビーム照射部からの副エネルギービームの単位面積あたりのエネルギーとを個別に調節可能な調節手段とを備える構成とすることにより、エネルギービームの利用効率を上げることができる。

【0132】

本発明にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置は、上記第1ビーム照射部および第2ビーム照射部は、互いに波長の異なるエネルギービームを照射することにより、例えば、レーザ光等のエネルギービームの利用効率を向上させることができるので、再結晶化の効率をより高めることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の結晶化半導体薄膜を製造する際のエネルギービームの照射の方法を説明する側面図である。

【図2】

本発明の実施の形態に基づく結晶化半導体薄膜の製造装置の概略の構成を示す正面図である。

【図3】

本発明の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスクに形成されるパターンの形状を示す正面図である。

【図4】

本発明による結晶化半導体薄膜の製造装置に用いる結像レンズのMTFを説明するグラフである。

【図5】

本発明の実施形態における半導体薄膜の温度プロファイルを示すグラフであり、(a)は、レーザ光を照射開始して25ns後のグラフであり、(b)は、60ns後のグラフであり、(c)は、70ns後のグラフであり、(d)は、100ns後のグラフである。

【図 6】

本発明の他の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置の構成を示す正面図である。

【図 7】

本発明の他の実施形態にかかる結晶化半導体薄膜の製造装置に用いるマスクに形成されるパターンの形状を示す正面図であり、(a)は、主ビーム形成用パターンを示しており、(b)は、副ビーム形成用パターンを示している。

【図 8】

本発明の他の実施形態におけるパルスレーザの出力の時間変化を説明するグラフである。

【図 9】

一般的なスーパーラテラル成長による結晶の成長を示す正面図である。

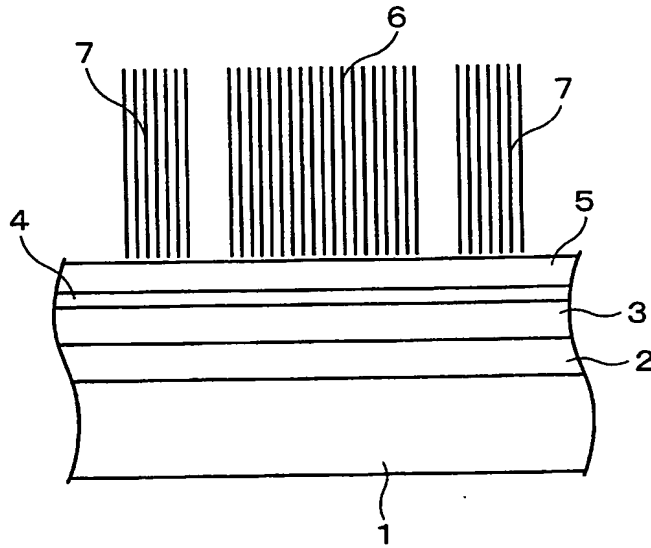
【符号の説明】

- 1 絶縁性基板
- 2 耐熱性薄膜
- 3 高熱伝導性絶縁膜 (熱伝導性絶縁膜)
- 4 バッファ層
- 5 半導体薄膜
- 6 主ビーム
- 7 副ビーム
- 11 主ビーム出力の時間変化曲線
- 12 副ビーム出力の時間変化曲線
- 21、51 主ビーム形成用パターン
- 22、52 副ビーム形成用パターン
- 23 マスク
- 31 第1のレーザ発振器
- 32 第2のレーザ発振器
- 33 第1の可変減衰器
- 34 第2の可変減衰器

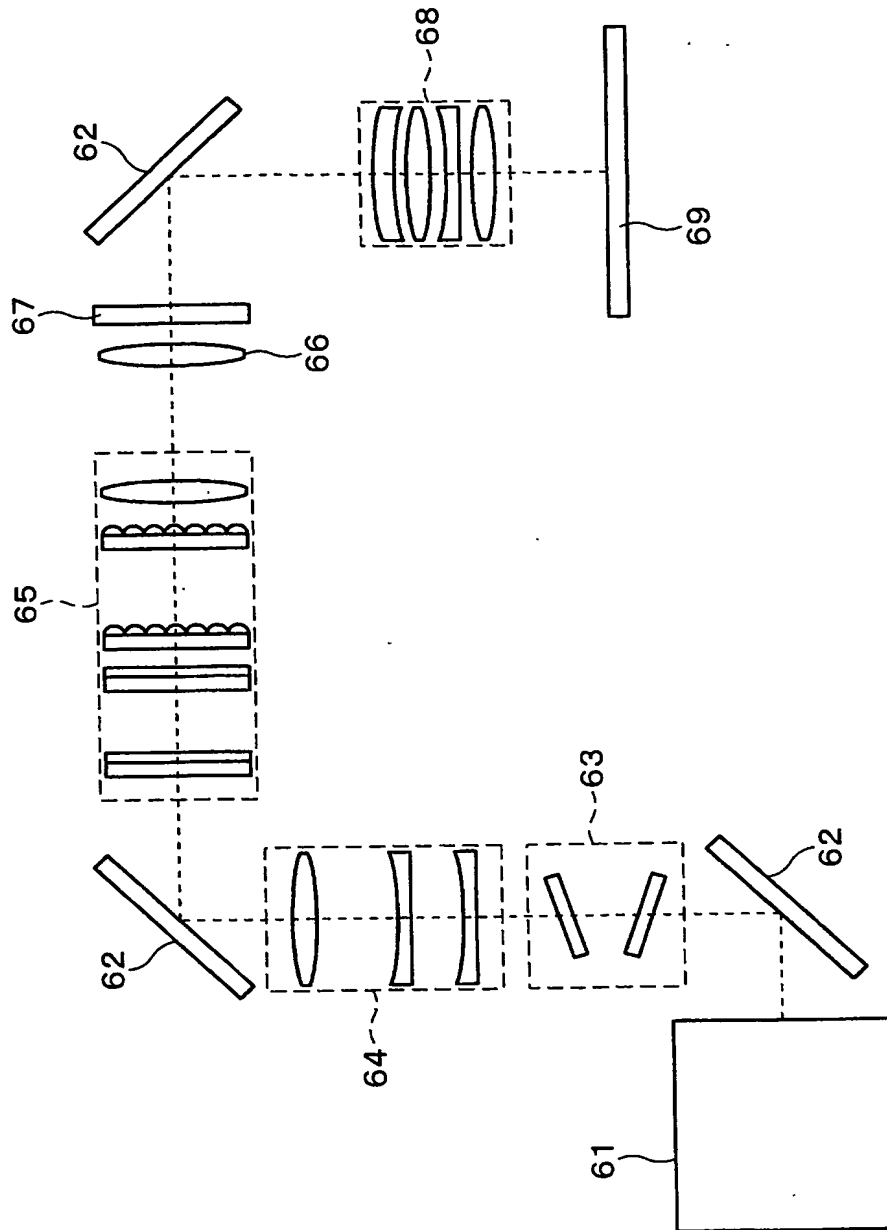
- 3 5 第 1 のビーム整形素子
- 3 6 第 2 のビーム整形素子
- 3 7、 6 2 ミラー
- 3 8 第 1 のマスク面均一照明素子
- 3 9 第 2 のマスク面均一照明素子
- 4 0 第 1 のマスク
- 4 1 第 2 のマスク
- 4 2 ビームスプリッタ
- 4 4 基板
- 4 5 パルスジェネレータ
- 6 1 レーザ発振器
- 6 3 可変減衰器
- 6 8 結像レンズ

【書類名】 図面

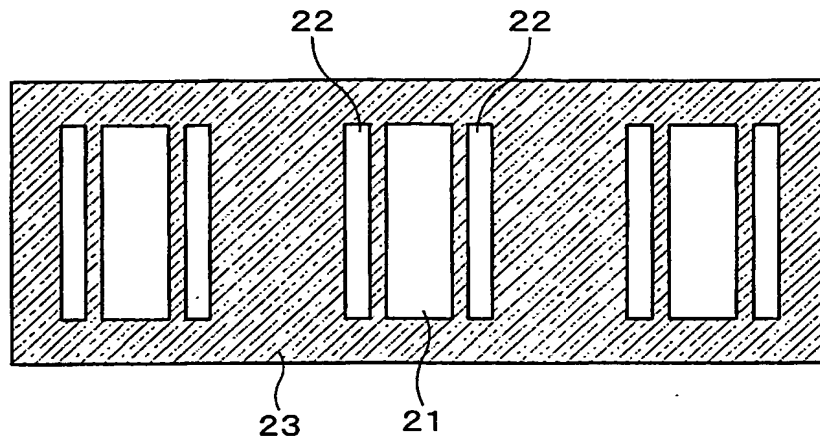
【図1】



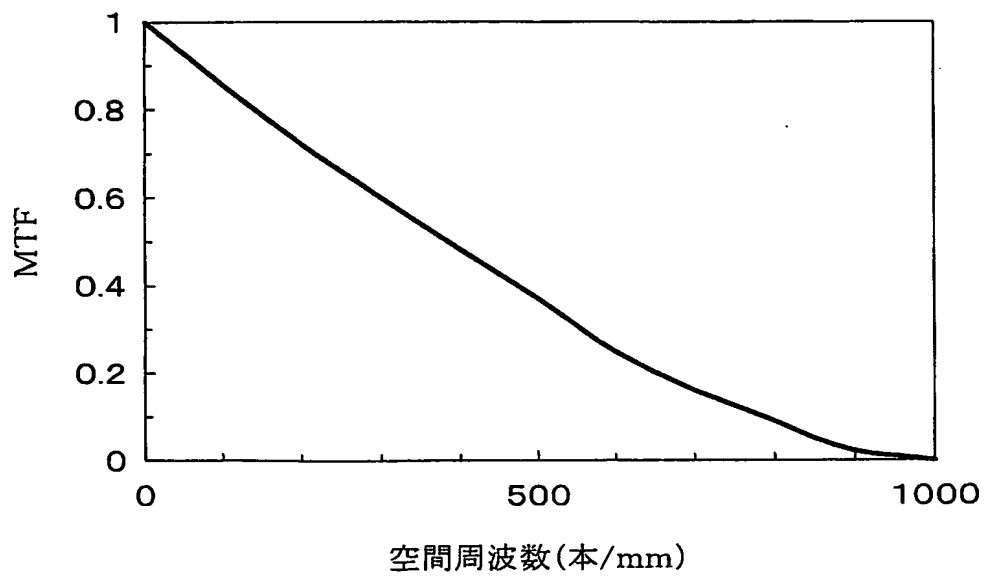
【図 2】



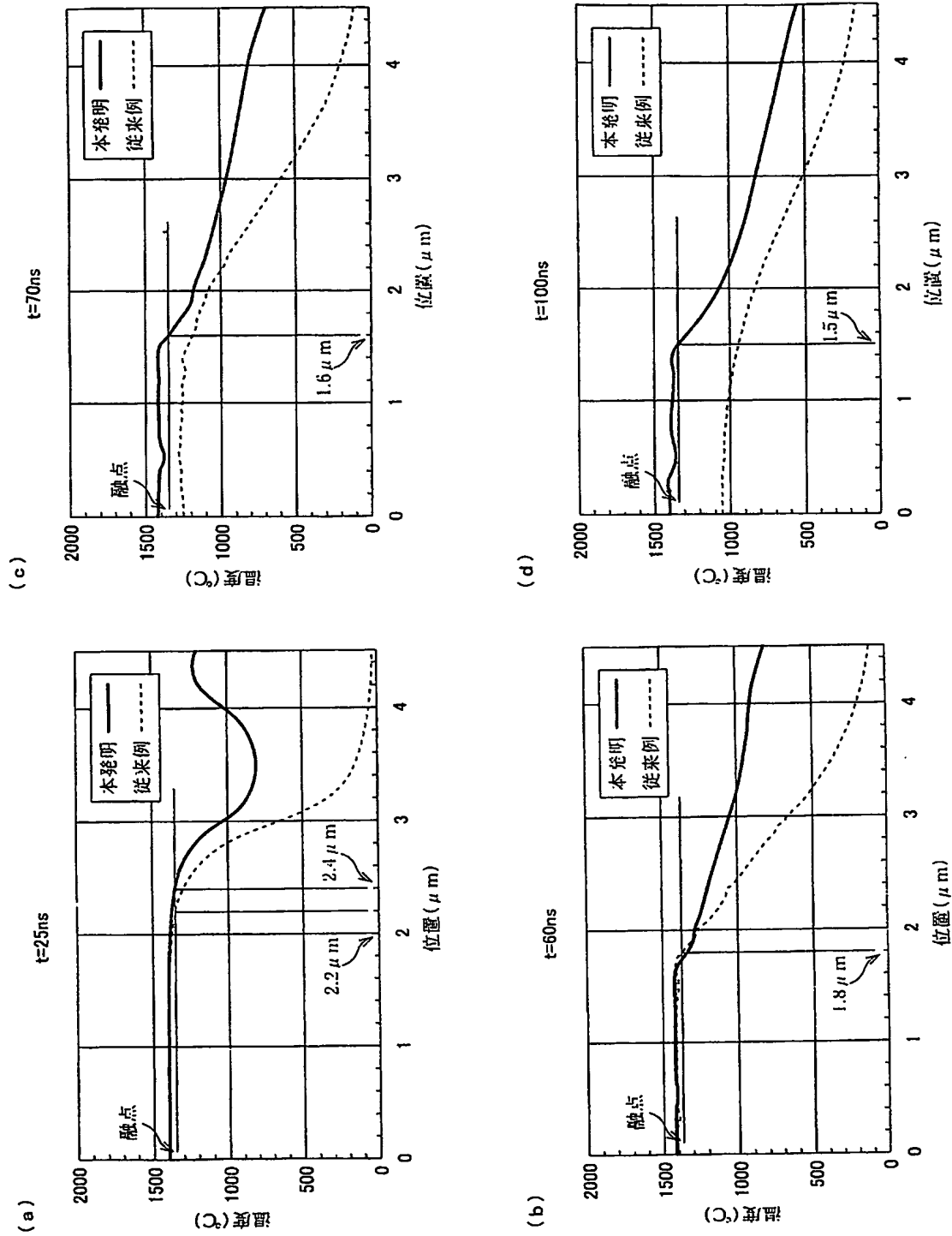
【図 3】



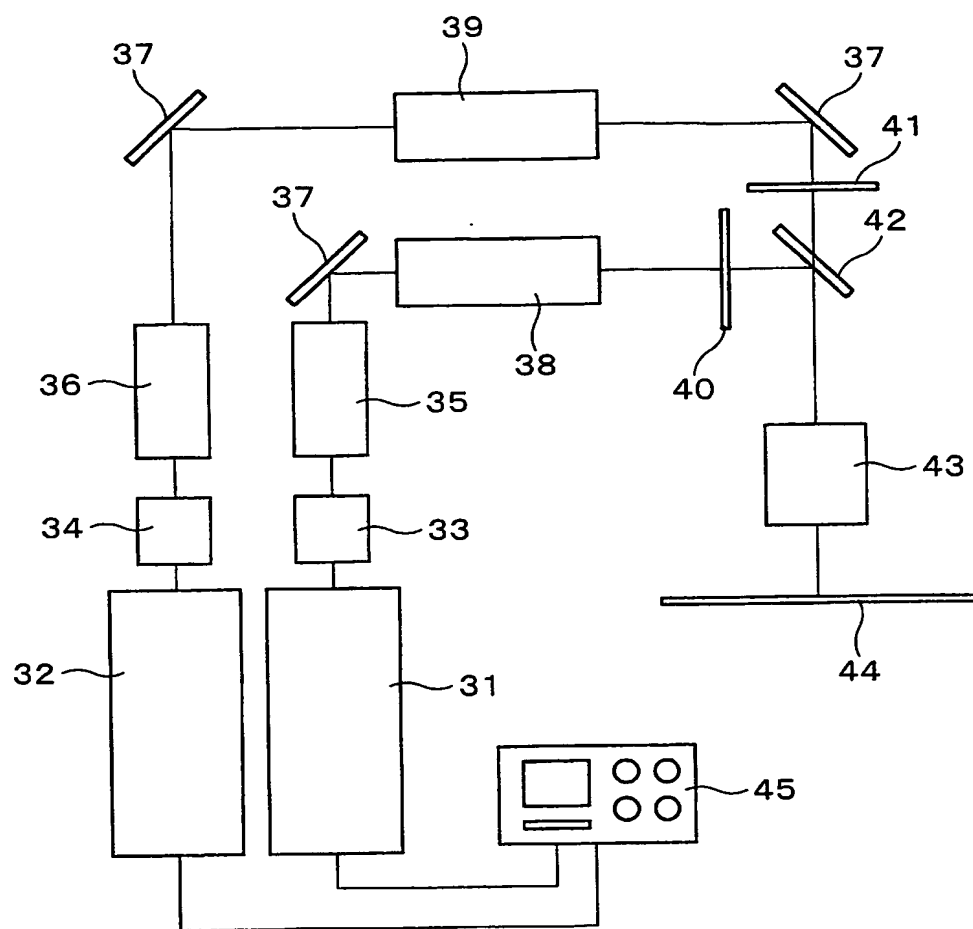
【図 4】



【図 5】

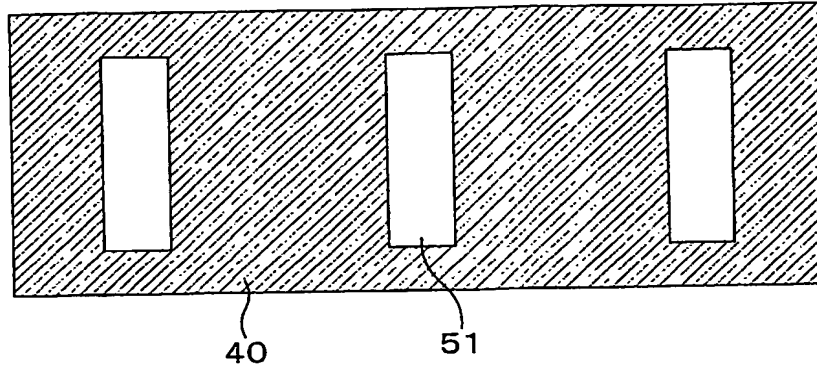


【図 6】

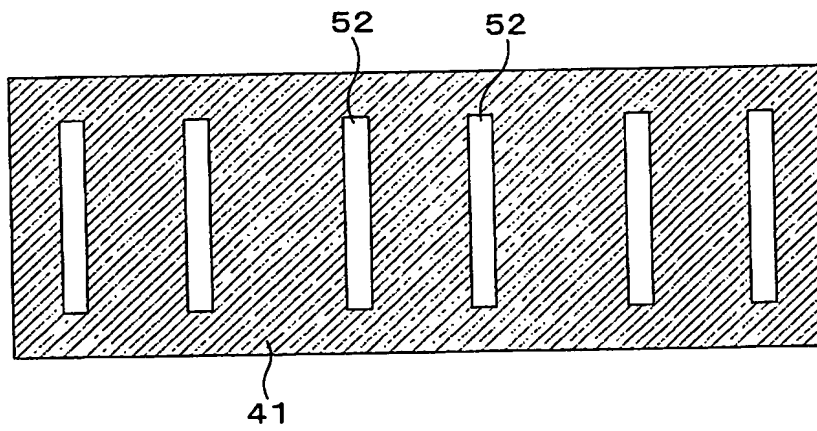


【図 7】

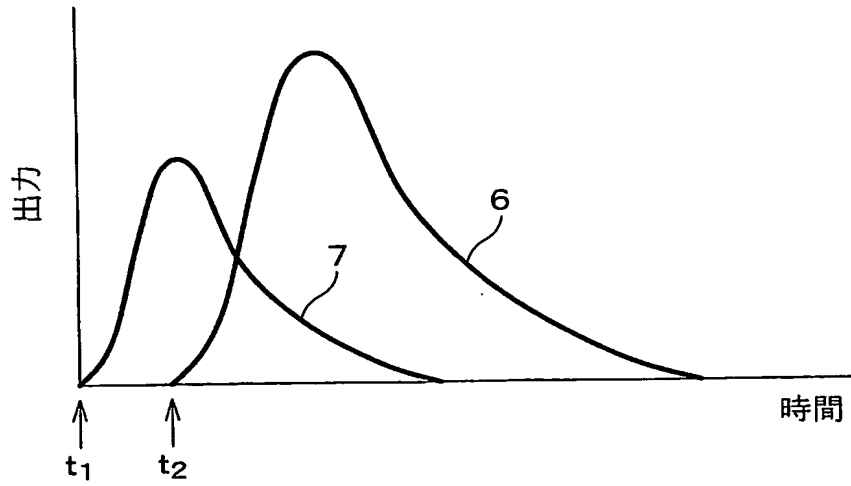
(a)



(b)

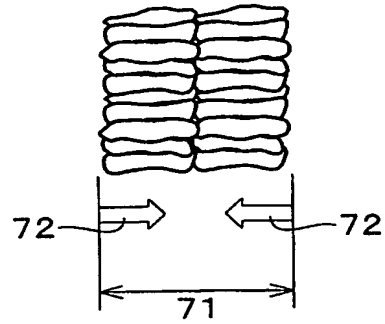


【図 8】

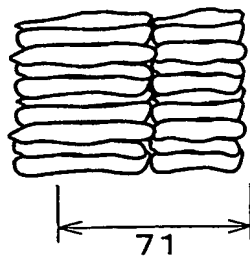


【図 9】

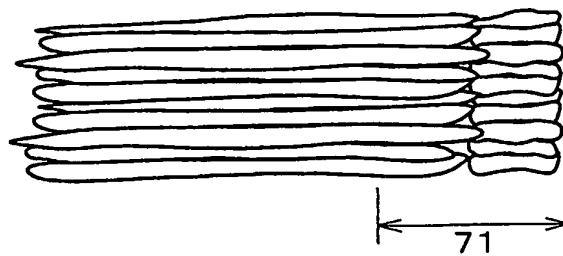
(a)



(b)



(c)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ラテラル成長方向の距離をより長くして、良質の多結晶化半導体薄膜を効率よく製造する結晶化半導体薄膜の製造方法および製造装置を提供する。

【解決手段】 パルス放射する微細幅のスリット状のエネルギービームを半導体薄膜 5 に照射して、該エネルギービームの照射領域における上記半導体薄膜 5 を厚さ方向全域にわたって溶融、凝固させて結晶化を行う結晶化半導体薄膜の製造方法であって、上記半導体薄膜 5 には、主ビーム 6 と、主ビーム 6 よりも小さいエネルギー密度を有し、かつ上記主ビーム 6 と隣り合うように副ビーム 7 を照射する

【選択図】 図 1

特願 2003-007631

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000005049]

1. 変更年月日

1990年 8月29日

[変更理由]

新規登録

住 所

大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号

氏 名

シャープ株式会社